

Artículo/Article
Sección C/Section C
Vol. 14, nro. 1
ID: 2585

Situación actual y avances tecnológicos para mejorar la productividad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Colombia

Jose Jaime Tapia Coronado[1]*, Liliana Margarita Atencio Solano[1], Julio Ramirez Duran[1], Karen Viviana Osorio Guerrero[1], Javier Castillo Sierra[1] Sergio Mejía Kerguelén[1]

[1]Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Colombia
*Autor para correspondencia/Corresponding autor, email: jtapia@agrosavia.co

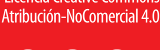
Current situation and technological advances to improve the productivity of maize (*Zea mays* L.) in Colombia

Resumen
Los altos volúmenes de importación de maíz que se reportan anualmente para Colombia lo ubican en el séptimo lugar a nivel mundial en este ejercicio comercial, ocasionando alta dependencia de mercados internacionales que pueden alterarse fácilmente ante eventos globales como el sucedido por la pandemia a causa de la COVID 19 en el año 2020. La importancia del maíz como materia prima y alimento vital de la canasta familiar de los colombianos, justifica la realización de grandes esfuerzos normativos, políticos, institucionales y técnicos en búsqueda de aumentar de manera competitiva y sostenible las más de 393 000 hectáreas reportadas en 2019 y los rendimientos en los sistemas de producción tradicional y tecnificado que oscilan entre 2,3 t ha^{-1} y 5,4 t ha^{-1} respectivamente. Actualmente, en Colombia múltiples instituciones de carácter gremial, nacional e incluso internacional ofertan tecnologías que permiten contar con modelos productivos para los diversos contextos socioeconómicos existentes; sin embargo, encontrar nuevos desarrollos tecnológicos en el uso eficiente de recursos naturales para explotar las ventajas competitivas, además de nuevas ofertas de materiales de siembra tanto de variedades como de híbridos, han sido prioritarios para definir líneas de trabajo con el fin de atender demandas tecnológicas transversales del país. Asimismo, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, como cabeza del sector agropecuario, lidera la formulación y ejecución de programas y/o proyectos que apalancan la integración de la cadena del maíz y su crecimiento o resurgimiento para disminuir las importaciones y lograr la autonomía de esta especie para Colombia.

Palabras clave: rendimiento, I+D+i, *Zea mays*, sostenibilidad, oferta tecnológica, manejo integrado, sistema tradicional.

Abstract
The high volumes of corn imports reported annually for Colombia place the country in seventh place worldwide in this business year, this produces high dependence on international markets that can be easily altered by global events such as occurred due to the COVID-19 pandemic in 2020. The importance of corn as a raw material and as a vital







Editado por / Edited by: Gabriela Albán

Recibido / Received: 01/02/2022

Aceptado / Accepted: 30/03/2022

Publicado en línea / Published online: 16/05/2022

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2585



food for the Colombian family basket justifies great regulatory, political, institutional, and technical efforts to increase in a competitive and sustainable way the more than 393 000 hectares reported in 2019, and the yields in the traditional and technician production systems that range between 2,3 t ha^{-1} and 5,4 t ha^{-1} respectively. Currently, in Colombia multiple institutions of a trade union, national, and even international offer technologies that allow production models for the various socioeconomic contexts; however, finding new technological developments in terms of efficient use of natural resources to exploit, competitive advantages, and new offers of planting materials for both varieties and hybrids, have been a priority to define lines of work in order to meet cross-cutting technological demands of the country. Likewise, the Ministry of Agriculture and Rural Development, as head of the agricultural sector, leads the formulation and execution of programs and/or projects that leverage the integration of the corn chain and its growth or resurgence to reduce imports and achieve autonomy of this species for Colombia.

Keywords: I+D+i, *Zea mays*, sustainability, technological offer, integrated management, traditional system

CONTEXTO NACIONAL

En Colombia, el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es de mucha importancia principalmente en los renglones económico y social. Desde la dimensión social, es considerado un producto clave para el consumo humano, el cual aporta energía (9%) para la dieta alimenticia de las personas. Para el año 2020 el consumo per cápita fue de 39,4 kg con una reducción del 28% con respecto al 2010 [1]. Desde lo económico, contribuye con el 5% al PIB agropecuario y es un cultivo del cual dependen económicamente muchas familias (391 000) [2].

A nivel nacional el maíz se ubica en el tercer lugar por superficie de siembra después del café y el arroz [3], con un área de siembra de 393 381 ha, de las cuales el 71,5% (281 199 ha) corresponden a maíz amarillo, con un rendimiento de 3,9 t ha^{-1} y una producción de 1 223 503 t y el restante 28,5% son de maíz blanco con un rendimiento de 3,8 t ha^{-1} y una producción de 400 402 t. Este cultivo se lleva a cabo bajo dos sistemas de producción: el tecnificado y tradicional. El primero abarca el 57% (226.597 ha) del área total de maíz [1]. Las siembras son en monocultivos, en áreas superiores a 5 hectáreas, en terrenos con pendientes inferiores al 10%, de mediana a alta fertilidad, uso de maquinaria e implementos agrícolas, uso de genotipos mejorados, mayor acceso a insumos agrícolas y cuentan con asistencia técnica, lo cual permite la obtención de mayores rendimientos (5,4 t ha^{-1}) con respecto al sistema tradicional (2 t ha^{-1}). Para el sistema tradicional, predomina la economía campesina, caracterizada por tener mano de obra familiar, áreas menores a 5 ha, y suelos de baja fertilidad con baja mecanización. Además, usan variedades criollas con limitada utilización de híbridos. Los cultivos son establecidos bajo asocio con frijol, papa, haba, arveja y trigo para las zonas frías y yuca, café, cacao, plátano y frijol en zonas cálidas [2].

A pesar de las producciones, es el país con mayor volumen de importaciones en Suramérica y el séptimo en el mundo con 6 133 605 t, de las cuales 5 721 358 t



corresponden a maíz amarillo, provenientes de Estados Unidos (92,2%), Argentina (9,74%), Paraguay (0,56%) y Brasil (4,96%), donde sus destinos son principalmente Antioquia, Bogotá, Cundinamarca, Santander y Valle del Cauca, debido a la presencia de plantas procesadoras de alimentos balanceados para alimentación animal: aves, porcinos, vacunos y mascotas [1]. Otros usos de este maíz son el ensilaje y la producción de biocombustibles. En el caso de maíz blanco, se importan 393 464 t principalmente desde Estados Unidos [1,4], destinadas especialmente a Bogotá, Antioquia y Atlántico, para la transformación de subproductos para consumo humano.

SITUACIÓN QUE AFRONTA EL CULTIVO

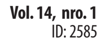
El sector maicero en Colombia se caracteriza por su baja competitividad y productividad, comparado con otros países que cuentan con subsidios por parte del estado, convirtiéndolos en sistemas altamente competitivos. Esta condición conlleva a una gran afectación de este sector constituido principalmente por medianos y pequeños productores, ya que genera bajos ingresos económicos, que afectan la calidad de vida de los productores, quienes ven cada día menores posibilidades de progreso.

Con base en esta problemática, la cadena productiva de alimentos balanceados que integra este cultivo, ha identificado las demandas que reflejan las necesidades y factores que afronta el cultivo, las cuales han sido agrupadas en las siguientes áreas temáticas: I) manejo del sistema productivo, II) manejo de suelos y aguas, III) material de siembra y mejoramiento genético, IV) Calidad e inocuidad de insumos y productos, V) manejo sanitario y fitosanitario, VI) manejo cosecha, postcosecha y transformación, VII) sistemas de información, zonificación y georreferenciación, VIII) fisiología vegetal y nutrición, IX) manejo ambiental y sostenibilidad, X) transferencia de tecnología, asistencia técnica e innovación y XII) socioeconomía, mercadeo y desarrollo empresarial [5,6]. Esta cadena productiva ha priorizado tres demandas para el cultivo (Tabla 1) que aplican en todos los departamentos:

Tabla 1. Principales demandas del cultivo de maíz en Colombia.

Área temática	Demanda	Descripción
Material de siembra y mejoramiento genético	Desarrollo de nuevos cultivares con suficientes estudios de manejo agronómico y con aseguramiento en la disponibilidad de semilla certificada	• Desarrollo de híbridos y variedades con alto potencial de rendimiento, adaptados a diferentes zonas agroecológicas y a la variabilidad climática, con resistencia a plagas y enfermedades y alta calidad nutricional e industrial. • Conservación, caracterización y aprovechamiento de variedades locales y razas criollas.
Manejo sanitario y fitosanitario	Manejo integrado de plagas y enfermedades	• Estudios de dinámica y establecimiento de umbrales para los principales problemas fitosanitarios • Desarrollo de estrategias de vigilancia y manejo integrado de las principales plagas y enfermedades.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2585


Vol. 14, nro. 1
ID: 2585



Área temática	Demanda	Descripción
Manejo de suelos y aguas	Nutrición y uso eficiente de nutrientes.	• Desarrollo de estrategias para el aprovechamiento eficiente del agua Desarrollo de sistemas de labranza de conservación • Usos de coberturas y sistemas de rotación Desarrollo de estrategias de nutrición y uso de biofertilizantes • Uso de herramientas tecnológicas y software (AGRICULTURA DE PRECISIÓN)

Fuente: [5,6]

Alineación de las políticas públicas y las alianzas interinstitucionales como estrategia para resolver las demandas de la cadena del maíz

Pese a las dificultades que afronta el cultivo de maíz en Colombia, se han logrado identificar acciones de I+D+I (Investigación, Desarrollo e Innovación) y trabajos de articulación, que han permitido el desarrollo de avances tecnológicos que aportan a la consolidación de la productividad y sostenibilidad de la cadena maicera. Por lo anterior, es importante mencionar algunos programas, planes y esfuerzos de carácter nacional que se han planteado o que se vienen ejecutando, aportan a la coordinación y ejecución de acciones estratégicas, al ordenamiento de la cadena y a la priorización de esfuerzos desde el cumplimiento del mandato institucional al sector tanto público como privado.

Entre las más destacadas están el Plan de ordenamiento productivo (en construcción) desarrollado por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria – UPRA, entidad adscrita al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR. La UPRA define como planteamiento inicial que los lineamientos de política para la cadena de maíz constituyen un instrumento orientador basado en cuatro ejes estructurales: mercado, productividad, bienestar e institucionalidad. Asimismo, contempla seis objetivos estratégicos: 1) impulsar la especialización de mercados en maíz; 2) fortalecer la investigación de semilla y su uso en los sistemas de producción; 3) dinamizar las agendas de investigación, desarrollo e innovación, la transferencia de tecnologías, capacitación y el extensionismo; 4) desarrollar la producción de maíz con capacidad de respuesta al cambio climático; 5) aumentar la participación del maíz con alto valor nutricional en la seguridad alimentaria; y 6) fortalecer la institucionalidad de la cadena de maíz. El propósito es que, para 2030, la cadena de maíz de Colombia sea una cadena productiva y rentable de manera sustentable; preserve su biodiversidad con un mejor uso de recursos, garantizando la seguridad alimentaria y nutricional del país [7].

La agricultura por contrato es una iniciativa del MADR que pretende lograr la articulación de diferentes eslabones de la cadena, desde productores, agroindustriales y, por supuesto, la institucionalidad relacionada con el sector maicero. Tiene como objetivos aumentar la producción nacional, asegurar la comercialización del producto con acuerdos formales de compraventa y generar una dinámica de ingresos y rentabilidad para el beneficio de pequeños y medianos productores [8]. Para el 2021, esta estrategia logró el desarrollo de 25 jornadas de negocios, vinculando a más de 240 000 productores en diferentes departamentos como Bolívar, Caquetá, Boyacá, Córdoba, Chocó, lo que representó cerca de $1,6 billones (COP) en ventas directas [9]. Dentro de esta estrategia

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2585





se ha generado la iniciativa conocida como Soya-Maíz proyecto País, que pretende la reducción de importaciones de maíz y convertir a los productores nacionales en los principales proveedores de la industria de balanceados [10]. La iniciativa en ejecución parte del análisis de riesgo generado por la cuarentena mundial y del cierre de fronteras realizado por algunos países, lo que obligó a Colombia a repensar las necesidades y posibilidades del agro, logrando una propuesta que incluye el análisis actual de las cadenas, las áreas de producción, el potencial agrícola, la demanda asegurada y el contrato de suministro, además de una propuesta de instrumentos de financiación y gestión de riesgos agropecuarios con líneas y coberturas especiales para el maíz [10].

Otra de las iniciativas desarrolladas en Colombia es la Mesa Técnica Agroclimática, la cual es liderada por el MADR y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) y en la que participan diferentes actores nacionales, regionales y locales, con el fin de conocer y entender el comportamiento de las condiciones climáticas en varias regiones del país y generar recomendaciones al sector agropecuario. En el caso de los cultivos, las recomendaciones van dirigidas a aquellos de mayor importancia económica para cada región, dentro de los cuales se resalta el maíz [11]. Este ejercicio participativo comparte información de tipo ambiental muy valiosa generando boletines agroclimáticos, los cuales quedan disponibles para los profesionales del agro, academia, extensionistas y productores en general [12]. Para el 2021, se contó con 84 boletines agroclimáticos en todo el territorio colombiano [13].

Por otra parte, se viene desarrollado el plan de trabajo sobre Lineamientos de política fitosanitaria e inocuidad en la cadena del maíz, liderado por FENALCE en convenio con MADR, ICA y AGROSAVIA. Con esto se busca ofrecer un marco de riesgo fitosanitario y de inocuidad para el sistema productivo de maíz que promueva la sostenibilidad (productivo, social, ambiental, económico) y mejore la competitividad del mismo.

Dentro de las alianzas más importantes para el desarrollo de procesos de investigación que permitan la generación de nuevas tecnologías para fortalecer el sistema productivo maíz en Colombia, se encuentra la alianza entre AGROSAVIA y el Centro de Mejoramiento de Maíz y Trigo – CIMMYT. Esta alianza estratégica de cooperación técnica genera iniciativas para contribuir a disminuir la brecha de rendimiento, el fortalecimiento de las capacidades técnicas y científicas, a partir de la adopción de nuevos cultivares superiores con adaptación a estreses bióticos y abióticos.

AVANCES TECNOLÓGICOS EN EL CULTIVO DE MAÍZ EN COLOMBIA

Material de siembra y mejoramiento genético

En Colombia se han realizado esfuerzos para el mejoramiento genético en maíz basado en las necesidades del productor y el consumidor [14], identificando genotipos superiores con atributos de valor para el beneficio de los productores. Una de las principales características de interés económico es encontrar materiales precoces con altos rendimientos. Entidades internacionales como CIMMYT y nacionales como AGROSAVIA y FENALCE, pretenden seleccionar, y desarrollar variedades mejoradas e híbridos de maíz, combinando factores ambientales, con eficiencia en el uso de agua

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2585



y nutrientes, calidad y propiedades deseables de producción de semillas para las zonas productoras de Colombia [3]. Con esto, se busca poner a disposición de los productores semilla calidad, que contribuya en la obtención de altos rendimientos, mayores ingresos y, por tanto, mayor rentabilidad [3].

Dentro del sistema de producción tecnificado es común el uso de materiales mejorados como híbridos convencionales y transgénicos que corresponden a las mayores áreas de siembra de maíz en Colombia [2]. La producción, distribución y comercialización de este tipo de semillas está a cargo de empresas nacionales e internacionales de carácter privado. Entre las de mayor importancia en Colombia se encuentran: FENALCE, Corteva (Unión de Dow y Dupont), Syngenta, Semillas Valle S.A., SEM LATAM S.A, entre otras [2]. En el sistema de producción tradicional se dispone del uso de semillas criollas y/o nativas y en muy poca proporción el uso de variedades mejoradas. Dentro de este último grupo, se comercializan variedades de maíz como: ICA V-109 (maíz de grano amarillo), ICA V-156 (maíz de grano blanco), ICA V- 305 e ICA V-508 (maíz de grano amarillo).

AGROSAVIA ha venido desarrollado nuevas variedades de maíz con diferentes atributos principalmente para pequeños y medianos agricultores (Tabla 2), las cuales son de alto rendimiento y adaptabilidad, además de que, los bajos costos de la semilla, permiten un oportuno y mayor acceso por parte de los agricultores [15].

Tabla 2. Principales características productivas de variedades de maíz de AGROSAVIA para la región Caribe Colombiana.

Nombre de la variedad	Color de grano	Elementos de valor	Adaptabilidad
CORPOICA V-114	Amarillo	RG: 4,3 t ha^{-1}, RF 30 t ha^{-1}	Temperatura: 25-35°C, HR: 85%, Altura: 15-300 msnm, precipitación mínima: 400 mm
CORPOICA V-159	Blanco	RG: 4,4 t ha^{-1}, tolerancia a pudrición de mazorca	
CORPOICA V-115 dulce	Amarillo	RM: 5,3 t ha^{-1}, 17, 6 °Brix, mayor precio de venta de mazorcas	
AGROSAVIA V-116 Hawaii	Amarillo	RM: 3,9 t ha^{-1}, 17,9 °Brix, mayor precio de venta de mazorcas	
AGROSAVIA V-117	Amarillo	RG: 5,8 t ha^{-1}, RF: 30 t ha^{-1}	
AGROSAVIA V-160 QPM	Blanco	RG: 5,2 t ha^{-1} y mayor contenido de Lisina y Triptófano	

RG: rendimiento de grano, RM: rendimiento de mazorcas en verde, RF: rendimiento de forraje verde, HR: humedad relativa.
Fuente: Elaboración propia

CORPOICA V-114 y CORPOICA V-159 son variedades de maíz con gran reconocimiento por parte de los pequeños productores de la región Caribe. Son genotipos adaptados a las microrregiones Valle Medio y Alto del rio Sinú y sabanas colinadas de Córdoba, Sucre y Bolívar [15].

Asimismo, AGROSAVIA ha venido realizando trabajos en el Trópico Alto, donde se ha evaluado diferentes accesiones de maíces con fines forrajeros, provenientes del banco de germoplasma para la alimentación y la agricultura de Colombia (SBGAA),

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2585




considerando atributos como la precocidad, alta producción de biomasa y resistencia a plagas y enfermedades. Como resultados preliminares de trabajos realizados en el departamento de Cundinamarca entre los meses de marzo y agosto de 2020, a una altura de 2546 m s.n.m., precipitación promedio de 647 mm y temperatura promedio de 12,8°C, se encontraron genotipos con rendimientos de forraje de 33 t ha^{-1} de MS, dos mazorcas por planta y una relación mazorca: biomasa de 28,34%, en el estado de grano lechoso a pastoso [16]. Estos resultados fueron obtenidos en áreas pequeñas, pero se busca continuar con las evaluaciones en áreas mayores y en otras localidades con la participación de productores.

En esta misma región, AGROSAVIA en alianza con CIMMYT, vienen desarrollando evaluaciones de 140 materiales de grano amarillo a fin de identificar cultivares con aspectos agronómicos sobresalientes y promisorios para el uso en fresco y grano que a futuro puedan ser entregados a los productores de esta zona del país. De acuerdo con los resultados preliminares de evaluaciones durante el 2021, se identificaron genotipos con rendimientos de grano de 7 t ha^{-1} y rendimiento de mazorcas en estado de choclo mayor a 24 t ha^{-1} con grados brix superiores a 14%, siendo notoriamente más precoces que el testigo local [17].

Manejo sanitario y fitosanitario

Entre las limitantes fitosanitarias reportadas por el ICA como las que más afectan el cultivo del maíz en Colombia están el gusano cogollero y el achaparramiento. En el caso del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)), es una plaga ampliamente distribuida en las zonas maiceras del país y del mundo, que presentan gran cantidad de hospederos alternos que favorecen el nivel de daño que causan. Su control, principalmente químico, comprende alrededor del 10% de los costos totales de producción del cultivo [18] por lo cual económicamente es considerado uno de los problemas más importantes [19]. Entre las alternativas para su control, está el uso genotipos transgénicos desarrollados por la empresa privada. Sin embargo, algunos estudios realizados en Tolima en genotipos que tienen incorporados la proteína Cry1F han mostrado que esta tecnología no ejerce un control total sobre la población larval de *S. frugiperda*, requiriendo de alternativas complementarias para su control [18].

Otro método para el control de esta plaga son los productos biológicos, principalmente a base de *Bacillus Turingiensis,* pero su uso ha sido poco adoptado por los productores. Diaz [20] evaluó diferentes cepas y dosis para el control biológico de esta plaga, encontrando valores de mortalidad superiores al 70% con dos tipos de cepas.

Por otro lado, el achaparramiento del maíz es un complejo trasmitido por el insecto *Dalbulus maidis* (De Long y Wolcott), el cual fue reportado en el 2016 como plaga limitante en maíz, generando pérdidas mayores al 70% en el departamento del Huila. Posteriormente, en los años 2018 y 2019 esta plaga fue reportada en Tolima y Valle del Cauca, respectivamente. Con base a esta problemática, desde el 2019, La Alianza Bioversity-CIAT ha enfocado sus trabajos en el Valle del Cauca para generar recomendaciones de manejo de esta enfermedad que contribuyan al desarrollo sostenible. También ICA, Fenalce, Advanta, BioCrop y La Alianza Bioversity-CIAT han implementado algunas estrategias de monitoreo en este departamento como una herramienta esencial para

DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2585





la toma de decisiones y prácticas de manejo [21]. Por otra parte, estudios desarrollados por AGROSAVIA en los departamentos de Huila y Tolima, han reportado la presencia de *Candidatus phytoplasma asteris* (MBSP) y *Spiroplasma kunkelii* (Mollicutes), trasmitidos por *Dalbulus maidi,* como agentes causales de este complejo (Tabla 3), con una mayor presencia e infección de espiroplasma en comparación al fitoplasma [22]. Según Rico [23], sugieren que cada mollicute presenta una interacción específica con *D. maidis*. Asimismo, Sánchez [22], reporta cuatro morfotipos de *D. maidis* y la mayor abundancia de esta plaga en el municipio de Garzón (Huila), además del porcentaje de infección del 34% de *Spiroplasma kunkelii*, 15% de *Candidatus phytoplasma asteris* y 8% de infecciones mixtas dentro del vector. Mientras que Valencia [24] encontró que el 62,9% de las arvenses asociadas al maíz son de la familia Poaceae y pueden ser infectadas con mayor frecuencia por *Candidatus phytoplasma asteris* en zonas donde exista mayor abundancia del vector, lo cual representa un riesgo de transferencia desde la arvense al maíz.

Tabla 3. Abundancia de individuos de Dalbulus maidis en diferentes condiciones ambientales del departamento del Huila.

Clima	Altitud (msnm)	Temperatura (°C)	N° Individuos
Frío – húmedo	1060 - 1120	18 - 20	0
Templado-Semihúmedo	720-880	22-24	6470
Cáñido-Semiárido	360-585	26-28	252

Fuente: [22]

Debido a la problemática fitosanitaria detectada a través de visitas de inspección, vigilancia y control en predios de productores de maíz, el ICA ha reglamentado fechas límites de siembra en los departamentos de Córdoba, Cesar, Valle del Cauca, Tolima, Huila y Meta, como una medida de protección sanitaria [25].

Otras áreas temáticas

En el país, también se han realizado varios trabajos de investigación en otras áreas temáticas como: manejo integrado del cultivo, prácticas de conservación de suelos, densidades poblacionales y uso eficiente de fertilizantes, entre otras.

Una de las mayores preocupaciones del sistema productivo de maíz, es el uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados. Es así como Vergara y colaboradores [26] evaluaron el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y la emisión de gases de efecto invernadero en lo Llanos Orientales (Figura 1) y evidenciaron que dosis intermedias (60 kg ha^{-1} N), permiten un uso eficiente del nitrógeno, no obstante, las producciones fueron más bajas (31% en comparación a los tratamientos con mayores dosis); mientras que, mayores dosis de nitrógeno (120 y 240 Kg ha^{-1} N) producen más grano, pero se obtienen más pérdidas de nitrógeno y emisiones de óxido nitroso (N_2O), lo que conlleva a mayores contaminaciones. Por lo cual se deben desarrollar nuevas tecnologías más sostenibles con el ambiente, las cuales permitan hacer un uso eficiente de fuentes de nitrógeno y regular las emisiones de gases [26].

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2585



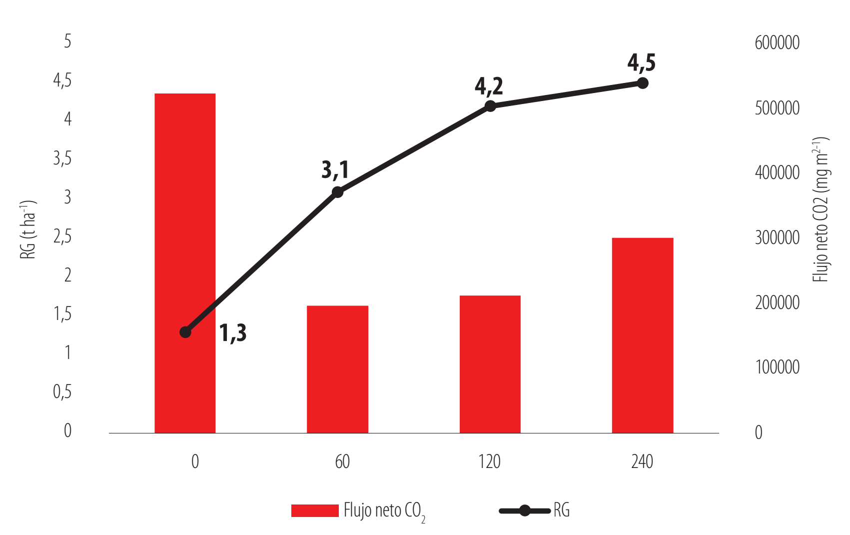


Figura 1. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y la emisión de gases de efecto invernadero en el cultivo del maíz. RG: rendimiento de grano, Fuente: [26].

Las altas densidades poblacionales son otra de las prácticas de manejo más usadas para incrementar el rendimiento del cultivo. De esta forma se genera una alta competencia intraespecífica por radiación solar, nutrientes y agua, se reduce la producción por planta, pero se incrementa el rendimiento del cultivo por el mayor número de plantas cosechadas. Bajo condiciones tropicales (Tolima), Quevedo [27], evaluó diferentes densidades poblacionales utilizando un híbrido comercial de maíz y encontraron que una densidad de 87 500 plantas ha^{-1}, permite un rendimiento de 9 916,66 ± 1,078 kg ha^{-1} y una rentabilidad del 58%.

Otra práctica es el asocio de maíz con cultivos como yuca, ñame, frijol, café, cacao y plátano, la cual es bastante realizada en la región Caribe de Colombia [28]. Para la cual AGROSAVIA [29] ha generado recomendaciones técnicas para la producción de maíz en asocio con yuca, uno de los cultivos que más se siembran en la zona, generando mayores beneficios para los agricultores que se reflejan en incrementos de los rendimientos de hasta un 50% y reducción de los costos unitarios de hasta un 36% con respecto a la forma tradicional de producción. Estos asocios también han sido de gran importancia para la producción de forraje en la alimentación animal. Mejía [30] evaluó la productividad y calidad del forraje del maíz intercalado con sorgo dulce y frijol, indicando que los mayores rendimientos (por encima de 80 t ha^{-1}) se obtuvieron en los asocios maíz-sorgo y maíz-sorgo-frijol, lo que representa una alternativa de alimentación animal, principalmente para la época seca.

Un factor que ha cobrado gran importancia en el sector agropecuario es el fortalecimiento de capacidades de los productores, promoviendo la asociatividad. Especialmente, para el maíz, AGROSAVIA desarrolla la apuesta de cooperación interinstitucional en alianza con ICA y SENA denominada Plan Nacional de Semillas, que tiene como propósito

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2585





el fortalecimiento de las capacidades de organizaciones de productores del cultivo de maíz en diferentes regiones de Colombia. De esta manera se busca capacitar a las organizaciones en tres componentes: organizacional, financiero y productivo. Los anteriores, bajo el enfoque de producción de semilla de calidad, es decir, orientado a recuperar, conservar y mejorar el uso de recursos fitogenéticos con y para pequeños productores mediante la limpieza, multiplicación, escalamiento, provisión de materiales regionales; y el fortalecimiento de las capacidades locales de las organizaciones de productores, que contribuya a consolidarlas como núcleos productivos de semilla de calidad. A través de esta estrategia se han capacitado 19 organizaciones de productores de los departamentos de Antioquia (1), Bolívar (3), Cauca (7), Córdoba (2), Risaralda (1), Sucre (6) y Valle del Cauca (1).

AGRADECIMIENTOS

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) por apoyar y financiar la elaboración del presente manuscrito que se enmarca en el proyecto "Programa de Mejoramiento Genético del Cultivo de Maíz para Colombia" (Código del proyecto: 1001498) en alianza con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Al Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) por financiar un proyecto que permite el relacionamiento entre investigadores para realizar el manuscrito. Al comité organizador de la XXIV Reunión Latinoamericana del Maíz por apoyar constantemente la temática del presente artículo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Julio Ramirez diseño las temáticas iniciales, Jose Tapia y Liliana Atencio realizaron modificaciones a las temáticas iniciales. Julio Ramirez y Karen Osorio realizaron los aportes en la temática de alienación de políticas públicas y alianzas. Jose Tapia y Liliana realizaron los aportes en las temáticas de contexto nacional, situación del cultivo y avances tecnológicos del cultivo. Karen Osorio y Javier Castillo realizaron los aportes en resultados de investigación de maíz en trópico alto. Sergio Mejía aportó en la mejora de la redacción y actualización de información del manuscrito. Jose Tapia, Liliana Atencio y Karen Osorio aportaron en la edición final del documento según las recomendaciones de la revista ACI. Todos los autores contribuyeron a la búsqueda de información y redacción y puesta a punto de todo el documento.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en el presente trabajo.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2585



REFERENCIAS

[1] Federación Nacional de Cultivadores de Leguminosas, Cereales y Soya "FENALCE". (2020). Estadísticas. Recuperado de https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiMTAwM2FmNDAtY2Jm0S00ZDM1LWE2MTMtYTM5YTU4NGM2YTg1liwidCI6IjU2MmQ1YjJlLTBmMzEtNDdmOC1iZTk4LThmMjI4Nzc4MDBhOCJ9

[2] García, M. (2021). Cadenas sostenibles ante un clima cambiante. El maíz en Colombia. Bonn (Germany): Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). 98 p. ISBN: 978-958-8945-53-8

[3] Figueroa, E., & Aguilar, A. (2019). Maíz para Colombia Visión 2030. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). México. 109 p. doi: https://hdl.handle.net/10883/20218

[4] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2020). Maíz. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. Recuperado de https://sioc.minagricultura.gov.co/AlimentosBalanceados/Documentos/2020-09-30%20Cifras%20Sectoriales%20Ma%C3%ADz.pdf

[5] Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias)., Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural & Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria "Corpoica". (2016). PECTIA - Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano . (2017-2027). 161 p. Recuperado de https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12759/109429_67478.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[6] Siembra. (2018). Listado detalles demandas Cadena de alimentos balanceados Recuperado de http://www.siembra.co/Demandas/Demanda/DetalleContenido

[7] Unidad de Planificación Rural Agropecuaria "UPRA". (2020). Plan de ordenamiento productivo, plan de acción para la cadena de maíz "por la productividad y competitividad de la cadena, y el bienestar de la población colombiana (2020-2030). Bogotá D.C. Colombia. Recuperado de https://www.upra.gov.co/documents/10184/124468/20200813_PPT_POP_Cadena_Maiz.pdf/09b96be9-7d18-4eb6-b44b-975c97fb6f29

[8] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural "MADR". (2019). Coseche y venda a la fija – agricultura por contrato. Estrategia Sectorial de comercialización agropecuaria que compromete a todas las Entidades Nacionales, Territoriales, Industria y Gremios Agropecuarios con la venta segura de los productos del Agro. Bogotá Colombia. Recuperado de https://sioc.minagricultura.gov.co/Documentos/1.%20Documento%20de%20Pol%C3%ADtica%20Coseche%20y%20Venda%20a%20la%20Fija%202019.pdf

[9] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2022). Agricultura por Contrato' cierra el 2021 con 242.000 productores vinculados y ventas por $1,6 billones. Recuperado de https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/%E2%80%98Agricultura-por-Contrato%E2%80%99-cierra-el-2021-con-242-000-productores-vinculados-y-ventas-por-$1,6-billones.aspx#:~:text=Bogot%C3%A1%2C%204%20de%20enero%20de,por%20el%20presidente%20Iv%C3%A1n%20Duque.

[10] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural "MADR". (2021). Soya - Maíz: Proyecto País. Recuperado de https://fenalce.co/documentos-de-interes/

[11] FINAGRO. (2021). Boletín agroclimático nacional. Recuperado de https://www.finagro.com.co/boletines-agroclim%C3%A1ticos-nacionales-2021

[12] Gobernación del Huila. (2021). Mesa técnica Agroclimática comprometida con el agro huilense. Recuperado de https://www.huila.gov.co/publicaciones/11358/mesa-tecnica-agroclimatica-comprometida-con-el-agro-huilense/

[13] Z Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (FINAGRO). (2021). Boletines agroclimáticos nacionales 2021. Recuperado de https://www.finagro.com.co/boletines-agroclim%C3%A1ticos-nacionales-2021

[14] Pardey, C. (2015). Producción de semilla y cruzamientos entre accesiones de maíz del departamento del Magdalena, Colombia. Acta Agronómica. 64 (1): 83-92. doi: http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n1.44551

[15] Mejía Kerguelén, S. L., Atencio Solano, L. M., Tapia Coronado, J. J., & Sánchez Rodríguez, L. A. (2020). Corpoica V-114 y Corpoica V-159: variedades de maíz de alta producción para la región Caribe de Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. doi: https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7404142

[16] Castillo, J., Mancipe, E., Vargas, J., Mayorga, F., & Avellaneda, Y. (2021). Evaluación agronómica de maíces del banco de germoplasma de Agrosavia. Revista colombiana de ciencias pecuarias. 34(4).



[17] Osorio, K., Florez, D., Jimenez, P & Mejia, S. (2021). Evaluación preliminar de híbridos promisorios de maíz (*Zea mays* l.) de grano amarillo de alto rendimiento para el trópico alto en la zona andina colombiana. Datos sin publicar.

[18] Jaramillo Barrios, C., Varón Devia, E. H., & Monje Andrade, B. (2020). Economic injury level and action thresholds for Spodoptera frugiperda (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize crops. Revista Facultad Nacional Agronomía Medellín 73(1): 9065-9076. doi: https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n1.78824

[19] Gómez Valderrama, J. A., Guevara Agudelo, E. J., Barrera Cubillos, G. P., Cotes Prado, A. M., & Villamizar Rivero, L.F. (2010). Aislamiento, identificación y caracterización de nucleopoliedrovirus nativos de Spodoptera frugiperda en Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 63(2): 5511-5520.

[20] Diaz, J. (2016). Acción de cepas nativas de Bacillus thuringiensis (Berliner), como control biológico de Spodoptera frugiperda (J.E. Smith). Lepidoptera: Noctuidae. TEMAS AGRARIOS. Vol 21 (2):86-91.

[21] Rodriguez, J. (2021). Dalbulus maidis (De Long & Wolcott) vector del complejo del Achaparramiento del maíz. 41-47. En: Quintero Rivero, E. J.; Jaramillo Barrios, C. I., & Canal Daza, N.A. (Comp.). (2021). Memorias Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. 48 Congreso SOCOLEN. Congreso virtual. Sociedad Colombiana de Entomología. 1, 2 y 3 de septiembre de 2021, Ibagué, Tolima, Colombia. 228 p

[22] Sánchez, I; Ramírez Godoy, A., Monje Andrade, B., & Vargas Berdugo, A. M. (2021). MIP-O-15. Evaluación de una población de Dalbulus maidis (Hemiptera: Cicadellidae) y la frecuencia de los patógenos del achaparramiento del maíz en el Huila. Pag 76. En: Quintero Rivero, E. J.; Jaramillo Barrios, C. I.; Canal Daza, N.A. (Comp.). 2021. Memorias Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. 48 Congreso SOCOLEN. Congreso virtual. Sociedad Colombiana de Entomología. 1, 2 y 3 de septiembre de 2021, Ibagué, Tolima, Colombia. 228 p

[23] Rico Sierra, E.M., Jaramillo Barrios, C.I., Monje Andrade, B., & Vargas Berdugo, A. M. (2021). MIP-O-24. Presencia de Mollicutes en Dalbulus maidis DeLong y Wolcott (Hemiptera: Cicadellidae) asociados al achaparramiento del maíz en el Tolima y Huila. Pág. 79. En: QuinteroRivero, E. J.; Jaramillo Barrios, C. I.; Canal Daza, N.A. (Comp.). 2021. Memorias Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. 48 Congreso SOCOLEN. Congreso virtual. Sociedad Colombiana de Entomología. 1, 2 y 3 de septiembre de 2021, Ibagué, Tolima, Colombia. 228 p

[24] Valencia Rodríguez, V., Rico Sierra, E., Jaramillo Barrios, C., Monje Andrade, B., & Vargas Berdugo, A.M. (2021). MIP-P-29. Interacción de Dalbulus maidis (De Long & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae), arvenses y mollicutes causantes del achaparramiento del maíz en los departamentos de Tolima y Huila. Pág. 114. En: Quintero Rivero, E. J.; Jaramillo Barrios, C. I.; Canal Daza, N.A. (Comp.). 2021. Memorias Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. 48 Congreso SOCOLEN. Congreso virtual. Sociedad Colombiana de Entomología. 1, 2 y 3 de septiembre de 2021, Ibagué, Tolima, Colombia. 228

[25] Instituto Colombiano Agropecuario "ICA". (2021). Resoluciones gerencias seccionales. Recuperado de https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-seccionales

[26] Vergara Rodríguez, D. R., Diaz Rodriguez, G., & Alvarez, A. P. (2017). Efecto de la fertilización Nitrogenada en el cultivo de maíz para la caracterización de la emisión de gases efecto invernadero. Documentos De Trabajo ECAPMA, (2). doi https://doi.org/10.22490/ECAPMA.1822

[27] Quevedo, Y., Beltrán, J., & Barragán, E. (2018). Effect of sowing density on yield and profitability of a hybrid corn under tropical conditions. Revista Agronomía Colombiana. 36 (3): 248-256. doi: https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v36n3.71268

[28] Salgar, L. (2004). El cultivo de maíz en Colombia. Revista Semillas. 22/23, 2-7.

[29] Agrosavia (n/f). Recomendaciones técnicas para el manejo integrado del cultivo de yuca en el sistema de producción en asocio con maíz. Recuperado de https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/617-recomendaciones-de-manejo-de-yuca-en-asocio-con-ma%C3%ADz

[30] Mejía, S., Tapia, J., Atencio, L., & Cadena, J. (2019). Producción y calidad nutricional del forraje del sorgo dulce en monocultivo e intercalado con maíz y frijol. Pastos y Forrajes 42 (2): 133-142.